Aus der chirurgischen Universitätsklinik Berlin, Ziegelstr.
(Stellvertretender Direktor: Prof. Dr. P. Rostock)

Elektrische und magnetische Verfahren zum Aufsuchen metallischer Fremdkörper

---

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Medizinischen Doktorgrades

an der

Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

vorgelegt von

Herbert Werner Pasternack

aus Berlin

---

1. Sep. 1942

Buchdruckerei Franz Linke, Berlin NW 7, Marienstr. 13

M 131

Gedruckt mit Genehmigung
der
Medizinischen Fakultät der Universität Berlin

Dekan: Prof. Dr. ~~L. Kreuz~~ Rostock
Referent: Prof. Dr. Haase
Korreferent: Prof. Dr. Rostock

Der Ausbau der Verfahren einer exakten Untersuchung der Anatomie des lebenden Körpers mit Hilfe der Röntgenstrahlen, welcher erfahrungsgemäß gerade in Kriegszeiten immer einen Höhepunkt erreicht, lenkt auch von Zeit zu Zeit immer wieder die Aufmerksamkeit auf eine Aufgabe, die in den Interimsjahren des Friedens begreiflicherweise leicht in Vergessenheit gerät, die Frage der Fremdkörper- i. B. der Steckschußlokalisation. Nun sind aber auch in den letzten Jahren des gewaltigen industriellen Aufschwunges derartige Methoden immer mehr in den Mittelpunkt des Interesses gerückt, galt es doch täglich die bei irgendwelchen Fabrikationsprozessen in den menschlichen Körper eingedrungenen Metallsplitter zu entfernen und dies mit möglichst absoluter Sicherheit. Diese Aufgabe ist ja im weiteren Sinne betrachtet auch eine topographisch-anatomische, denn hier handelt es sich um die sichere Klärung der anatomischen Konstellation unter den durch das Trauma gesetzten besonderen Verhältnissen. Da aber eine wahrhaft verwirrende Fülle von Vorschlägen und Verfahren auf diesem Gebiet besteht, war es geboten, die bestehenden Methoden einem genauen Vergleich und genauerer Nachprüfung zu unterziehen, ehe sie im Nachfolgenden beschrieben werden.

Nun hat die gerade während eines Krieges häufig an den Chirurgen herantretende Aufgabe, Geschosse aus dem menschlichen Körper zu entfernen, nicht nur auf dem Gebiete der Röntgendiagnostik, sondern darüber hinaus auf dem Gebiete der Elektrotechnik, der elektromagnetischen Wellen und der Hochfrequenztechnik ein größeres Interesse enstehen lassen. So sind denn auch zu der großen Zahl der schon bekannten Methoden, den Sitz von Fremdkörpern mittels der Röntgenstrahlen zu bestimmen, eine noch größere Anzahl neuerer hinzugetreten. Alle diese Verfahren, welche theoretisch oft genaue Resultate geben und, soweit sie auf stereoskopischen Betrachtungen beruhen, eine sehr klare Anschauung über den Sitz des Fremdkörpers ermöglichen können, gewähren aber erfahrungsgemäß durchaus nicht die Sicherheit, daß bei der Operation der Fremdkörper auch gefunden wird.

Die erste Forderung bei einer derartigen Operation ist aber die, das Geschoß tatsächlich zu finden und mit einem Minimum an Gewebsverletzung auszukommen. Die Gründe dafür, daß man dies bisher nicht erreichen konnte, oder doch nur selten, sind mannigfacher Art, beruhen aber in der Hauptsache darauf, daß durch die Verhältnisse der Operation einerseits die anfangs ganz klare Orientierung verloren geht, andererseits aber auch, besonders durch das Klaffen der Incisionswunden, welches noch durch das Auseinanderziehen mit Haken verstärkt wird, der Fremdkörper in vielen Fällen sich praktisch nicht mehr dort befinden kann, wo er theoretisch sein müßte. Dieser Schwierigkeiten konnte man nur dadurch Herr werden, daß man sich Anhaltspunkte schuf, welche es ermöglichten, auch während der Operation Schlüsse auf den Sitz des Fremdkörpers zu ziehen, wenn nötig sogar mit dem Leuchtschirm oder nach einer der sehr zahlreichen geometrischen Lokalisationsmethoden oder auch mit den neuesten elektromagnetischen Suchspulen.

Der Indikation zur Entfernung der Fremdkörper waren, solange die Lokalisationsmethoden noch umständliche und äußerst schwierige Wege gehen mußten, wie dies nach dem Kriege 1870/71 und noch zu Beginn des Weltkrieges der Fall war, doch sehr enge Grenzen gesetzt. Aber es bestand ja auch wenig Veranlassung, einen reizlos eingeheilten oder nur ganz geringe Beschwerden verursachenden Fremdkörper durch einen chirurgischen Eingriff, dessen Erfolg doch recht zweifelhaft war, zu entfernen. Viel dringender wird aber der Nachweis des Fremdkörpers gefordert, wenn dieser bedrohliche Erscheinungen verursacht. Ich erinnere vor allem an die Fälle von Tetanus, wo als Ursache in den Körper eingedrungene Fremdkörper sowohl intra vitam als auch bei der Sektion gefunden wurden. C. Kaufmann beschreibt 1883 einen Fall aus der Kocherschen Klinik, wo die Anfälle sich stets bei Druck auf den rechten Daumen auslösen ließen. Bei der Obduktion wurde dann eine reaktionslos eingeheilte 2 cm lange Gabelzinke in der Tiefe der Volarhälfte der Daumenendphalanx gefunden.

Hierher gehören die bei den Stichwunden häufig zurückbleibenden Teile, wo sehr oft die Anamnese fehlt oder sogar negativ lautet und nach kürzerer oder längerer Zeit nach der Verletzung sich bedrohliche Folgezustände geltend

machen. Gewöhnlich bedingen diese Fremdkörper trotz ihres tiefen Eindringens primär keine oder nur geringgradige Erscheinungen, die, zumal wenn der Arzt etwa durch die Stillung einer heftigen Blutung als Folge der Verletzung und dergleichen in Anspruch genommen ist, so leicht übersehen werden.

Grashey, eine Autorität auf diesem Gebiete, hat für die Indikation der operativen Entfernung von Steckschüssen grundsätzliche Ausführungen gemacht. Unter allen Umständen müssen nach ihm entfernt werden: Steckschüsse, die offenbar im Bereiche einer lebhaften Infektion liegen oder eine solche erwarten lassen oder eine chronische Eiterung unterhalten; ferner sollen entfernt werden: solche, welche Beschwerden machen oder voraussichtlich machen werden, außer, wenn die Operation verhältnismäßig schwierig und gefährlich ist. Zuletzt sollen auch Fremdkörper, welche weder Beschwerden machen, noch solche erwarten lassen, dann entfernt werden, wenn sie leicht erreichbar sind. Derartige Verhältnisse sind z. B. gegeben, wenn man ein Geschoß unmittelbar unter der Haut tasten kann, wenn bei kleiner Einschußöffnung ein größeres Projektil in einem größeren Gelenke steckt, innerhalb des Schädels an der Gehirnoberfläche liegt, oder wenn man — was allerdings selten vorkommen dürfte — annehmen kann, daß es bei Lähmungserscheinungen des Rückenmarks einen Druck auf dieses ausübt. Aus dem Kniegelenk werden Granatsplitter am besten gleich nach der Verwundung entfernt, einmal, weil die Gelenkwunden, sofern auf ihre aseptische Heilung gerechnet wird, stets primär geschlossen werden müssen, ein operatives Vorgehen also an sich angezeigt war, und das andere Mal, weil die Anwesenheit größerer Fremdkörper in der Tiefe des Gelenkes fast stets zu einer Infektion desselben führt. Unangebracht ist das primäre Suchen von Geschossen in der Brust- und in der Bauchhöhle, da die Schwierigkeiten des Auffindens, die hierbei angerichteten Zerstörungen und der Zeitverlust groß, der Nutzen aber gering zu sein pflegen. Bei der operativen Versorgung frischer Bauchverletzungen wird daher am besten nach einem Geschoß grundsätzlich nicht gesucht, und es wird nur dann entfernt, wenn es dem Operateur zufällig in die Hand kommt. Weitere Indikationen zur Entfernung eines Fremdkörpers bilden sensible Reizerscheinungen in Gestalt von Schmerzen oder Parästhesien, sofern sie auf die Anwesenheit eines

solchen bezogen werden müssen, Hirndruckerscheinungen oder Späthirnabszesse, wobei an eine vom Fremdkörper oder von seiner Cyste ausgehende Druckwirkung zu denken ist, Epilepsie, wenn der Fremdkörper in der Nähe der motorischen Rindenregionen liegt.

Bildet ein Geschoß ein mechanisches Hindernis für Bewegungsvorgänge, so ist es zu beseitigen, ebenso, wenn es die Passage der trachea, der Bronchien, des oesophagus oder der urethra verengt oder aufhebt. Wiederholt wurde beobachtet, daß ein im Bereiche einer Fraktur liegendes Geschoß die knöcherne Wiedervereinigung der Bruchstücke hinderte, indem es eine Diastase der Knochenbruchstücke unterhielt und der Kallusbildung entgegenwirkte. Ein im Bereiche des Harnsystems gelegener, von Urin bespülter Fremdkörper wird stets inkrustiert und führt zur Steinbildung. Er muß daher entfernt werden, wenn er nicht gerade in der Niere oder in der Blase liegt.

Die Frage, ob die Anwesenheit eines metallischen Fremdkörpers zu einer chronischen Metallvergiftung führen und hierdurch die Veranlassung zu seiner Beseitigung geben kann, wurde oft erörtert. In dieser Richtung wurden besonders bleihaltige Geschosse verdächtigt, eine völlige Klärung hat aber diese Frage bisher nicht gefunden. Die Erfahrung jedenfalls hat gezeigt, daß das Auftreten einer Bleivergiftung äußerst selten ist. Der Uebertritt von Metall in das Blut soll bei zweimetallischen Geschossen, infolge einer hierbei einsetzenden Elektrolyse leichter erfolgen. Ist eine Bleivergiftung aber sichergestellt, und besteht keine andere Eingangsquelle für das Blei, so wird man einen vorhandenen Metallsplitter entfernen, wobei noch zu bemerken ist, daß die modernen Kriegsgeschosse bleihaltiges Material nur selten und meist nur als Füllmaterial enthalten, dagegen heutzutage Leichtmetallegierungen, insbesondere Aluminiumlegierungen (Elektron), den Stahlmantel der Geschosse ersetzen.

Von manchen Autoren wie Gissel u. a. wird aber auch den Leichtmetallegierungen, vor allem aber den Magnesiumlegierungen eine besondere Gefährlichkeit zugesprochen, da das Magnesium durch Wasserstoffabspaltung die Gewebsspalten auflockert und dadurch der Infektion die Tore öffnen soll.

Die Beseitigung eines Fremdkörpers ist durchaus nicht immer eine Selbstverständlichkeit, aber es gibt Indikatio-

nen in recht erheblicher Zahl, was durch das oben Ausgeführte zur Genüge bewiesen wird. Sind das Auffinden und die Beseitigung des Fremdkörpers voraussichtlich mit Gefahren und Schwierigkeiten verbunden, oder geht die Operation sehr wahrscheinlich mit einer erheblichen Zerstörung von wertvollem Körpergewebe einher, so wird man mit der Operation sehr zurückhaltend sein und an sie nur beim Vorliegen beträchtlicher Beschwerden oder von Gefahren herangehen. Anderenfalls aber, d. h. wenn die Gefahren und die Schädigungen durch die Operation nicht ernstlich ins Gewicht fallen, besteht kein Grund, einem pathologischen Zustande, wie ihn das Vorhandensein eines Fremdkörpers im menschlichen Körper darstellt, nicht durch die Entfernung desselben ein Ende zu machen.

Wie ich bereits ausführte, ist die Zahl der Lokalisationsmethoden, vornehmlich mit Hilfe der Röntgenstrahlen eine gewaltige. Ende des Jahres 1914 gibt Wachtel bereits 70 Verfahren an, von denen jedoch keines den Anforderungen, die der Chirurg an ein solches stellen muß, genügte. Nach anderen Angaben erhöhte sich die Anzahl bis Ende des Weltkrieges auf 200. Nach meinen Nachforschungen im einschlägigen Schrifttum erscheint mir diese Zahl viel zu hoch gegriffen zu sein, denn es handelte sich nur bei wenigen Verfahren um die Aufstellung grundsätzlich neuer Wege auf diesem Gebiet, sondern vielmehr meistens um nur unbedeutende Abänderungen einer schon bekannten Lokalisationsmethode. Einer solchen Röntgenoperation, zumal wenn sie unter dauernder Leuchtschirmkontrolle ausgeführt wird, haften jedoch zahlreiche Mängel an. So müssen statt der normalen Operationstische aus Eisen strahlendurchlässige Tische aus Holz oder Aluminium verwendet werden. Weiterhin besteht die Gefahr der Strahlenschädigung für den Operateur und auch für den Verletzten, und der Operateur wird durch Bleigummihandschuhe und Bleischürze stark behindert. Da eine schnelle Adaption des Operateurs nicht möglich ist, muß entweder bei monochromatischer (gelber) Beleuchtung (man benutzt dazu heute Heliumlampen) operiert werden, oder das Röntgen muß eine zweite, dauernd adaptierte Person ausführen. Nach der Methode, die von Grashey im Jahre 1906 angegeben wurde, sind aber auch Röntgeniseur und Operateur in einer Person vereinbar, nämlich dann, wenn man das Monokelkryptoskop benutzt. Nur hat dieses Verfahren wieder den Nachteil, daß

ein stereoskopisches Sehen während der Operation nicht möglich ist. Gelingt es trotz angestrengten Suchens während einer Operation nicht, den vorher unter dem Röntgenschirm genau bestimmten Fremdkörper zu finden, so bleibt nichts anderes übrig — will man nicht auf die Entfernung desselben verzichten — als noch einmal zu durchleuchten, wobei leicht eine Gefährdung der Asepsis eintreten kann.

Weiterhin zu erwähnen ist noch ein wichtiges Moment, welches die Anforderung an den Kranken, die namentlich bei Schwerverletzten in Betracht kommt, darstellt. Man kann von einem Schwerverletzten nicht jene Drehungen und Wendungen und nicht jene ruhige Lage verlangen, welche für die meisten röntgenologischen Lokalisationsmethoden nun einmal unumgängliche Forderungen sind.

Es sind also recht erhebliche Nachteile, die diesen Methoden anhaften, und es ist daher verständlich, daß besonders in den letzten Jahren die Forderung nach strahlenfreien und dennoch vollkommen sicheren Fremdkörperlokalisationsverfahren, die auch während der Operation ohne jede Gefahr anzuwenden waren, immer dringender wurde. Es ist interessant, daß sich unter den zahlreichen elektrischen und magnetischen Verfahren, die diesen Forderungen Rechnung tragen und die im Folgenden näher beschrieben werden, auch wieder ein Röntgengerät, also eine nicht strahlenfreie Methode, befindet. Es ist dies das Boloskop der Firma Philips (Eindhoven, Holland), eine Erfindung aus dem Jahre 1940. Dieses Gerät arbeitet mit Röntgenstrahlen und mit Lichtstrahlen, und zwar derart, daß erst einmal die Lage des Fremdkörpers durch die Röntgenstrahlen bestimmt wird, danach aber der Weg allein durch zwei sich im Fremdkörper schneidende Lichtstrahlen gewiesen wird.

Die Zahl der strahlenfreien Lokalisationsmethoden, deren Anfänge bis in das Jahr 1881 zurückgehen, reicht, obwohl die Röntgenstrahlen erst im Jahre 1895 entdeckt wurden, bei weitem nicht an die gewaltige Zahl der Röntgenlokalisationsmethoden heran. Aber gerade weil man zu der Zeit, als man die Röntgenstrahlen noch nicht kannte, auf strahlenfreie Verfahren angewiesen war und weder Zeit noch Mühe scheute — wenn auch oft mit den primitivsten Mitteln — neue Verfahren und Geräte zu entwickeln, ist es durchaus lohnend, einmal den ersten Anfängen dieser Ver-

fahren nachzugehen und ihre Entwicklung bis zum heutigen Tage zu verfolgen.

Da taucht im Jahre 1881 ein erstes Fremdkörpersuchgerät in England auf, eine „Induktionswaage" — Balance of induction — wie es von dem Erfinder Hughes genannt wird. Dieses Gerät besteht aus zwei Holz- oder Hartgummizylindern, auf denen sich je zwei 150 cm lange Wicklungen isolierten Kupferdrahtes befinden. Die beiden gleichsinnigen oberen Wicklungen bilden einen geschlossenen Stromkreis, der ein Element und ein Mikrofon, auf dem eine Uhr liegt, einschließt. Die beiden unteren Spulen sind im entgegengesetzten Sinne zu den beiden oberen gewickelt. Auch diese bilden einen geschlossenen Stromkreis, der einen Telefonhörer enthält. Der Apparat ist nun so eingerichtet, daß gewissermaßen ein Gleichgewicht zwischen den beiden Stromkreisen herrscht, so daß also im Telefonhörer des zweiten Stromkreises keine Schwingung des ersten zu hören ist. Nähert man nun aber einem der beiden Zylinder ein Metallstück oder bringt man einen der Zylinder an einen Körperteil heran, in dem sich ein metallischer Fremdkörper befindet, dann hört man plötzlich das Ticken der Uhr im Telefonhörer.

Wie oft und mit welchem Erfolg dieser Apparat von Hughes angewendet wurde, steht nicht fest, es ist jedoch überliefert, daß er zum ersten Male anläßlich des Attentats auf den amerikanischen Präsidenten Garfield im Jahre 1881 gebraucht wurde. Wenn es auch nicht gelang, Garfield am Leben zu erhalten, war man doch insoweit erfolgreich, als man die Mörderkugeln unmittelbar nach dem Attentat sämtlich mittels des Hughes'schen Apparates auffinden und entfernen konnte

Eine Methode, welche im Prinzip der von Hughes gleich ist, ist der kurze Zeit später im Jahre 1883 von de la Baume-Pluvinel in Frankreich eingeführte „Doigtier audioskopique".

Bei diesem Verfahren ist der eine der beiden Hughesschen Holzzylinder durch einen Fingerling ersetzt, der eine Suchspule von 15 mm Höhe und 3 mm Durchmesser enthält; der andere Zylinder ist durch eine Spule ersetzt, die der Suchspule ähnlich ist. Sie steht mit einem Regulierapparat in Verbindung, welcher die Induktionsströme ausgleicht, die in den beiden Spulen entstehen.

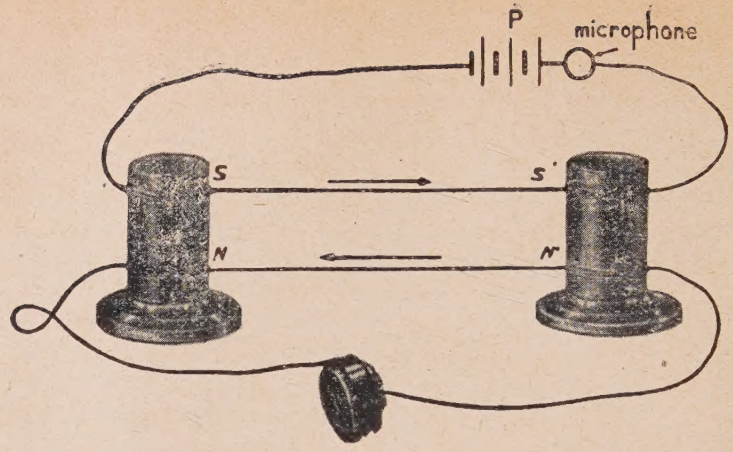
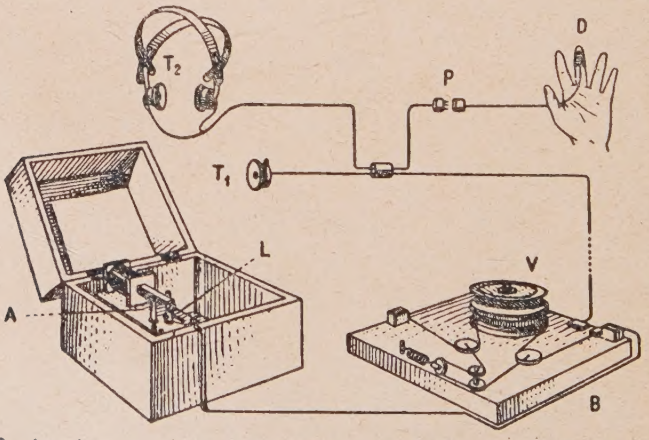


Abb. 1. Balance of Induktion von Hughes. Nähert man einem der beiden Zylinder einen metallischen Fremdkörper, so wird das zwischen den beiden Stromkreisen herrschende Gleichgewicht gestört, und das Ticken der auf dem Mikrofon liegenden Uhr wird im Kopfhörer hörbar. (Entnommen aus „Trâité d'électro-radiothérapie', Delherme et Laquerriere, Paris.)

In dem Induktionsstromkreis sind anstelle des einen Telefonhörers hier drei enthalten, zwei für den Chirurgen, der den Kopfhörer aufsetzt und nunmehr beide Hände frei hat, und einen für den Assistenten, der den Apparat so ein-



Ab. 2. Doigtier audioskopique von de la Baume-Pluvinel. Der Fingerling D enthält eine Suchspule, die der Spule B ähnlich ist. Der Regulierapparat V gleicht die in den beiden Spulen entstehenden Induktionsströme aus. Bei Störung des Gleichgewichtes durch Annähern eines metallischen Fremdkörpers wird das Hämmern im Kopfhörer vernehmbar, welches von einer faradischen Spule mit Hammer und Unterbrecher erzeugt wird. (Entnommen aus „Trâité d'électro-radiothérapie", Delherme et Laquerrière Paris.)

stellt, daß dieser, wenn er nicht benötigt wird, kein Geräusch wiedergibt.

Das Mikrofon, auf dem nach Hughes eine Uhr lag, ist hier durch eine faradische Spule mit Hammer und Unterbrecher ersetzt. Die Quelle des elektrischen Stromes ist ein Element. Die in den Fingerling eingebaute Suchspule steckt sich der Chirurg auf den Zeigefinger, darüber zieht er dann den sterilen Handschuh. Sobald alle metallischen Operationsinstrumente im Umkreis entfernt sind, geht der Operateur mit dem Zeigefinger in die Wunde ein. Nähert er sich nun dem Fremdkörper, dann ist plötzlich das Gleichgewicht zwischen den beiden Spulen gestört, und das Klopfen des Hammers wird im Kopfhörer deutlich wahrnehmbar. Ganz besonders stark hört man das Klopfen, wenn die Suchspule den Fremdkörper berührt.

Bereits ein Jahr später, 1884, berichtet der Schweizer Chirurg Theodor Kocher in Berlin über ein von ihm angegebenes „annähernd sicheres Verfahren zur Fremdkörperentfernung" und beschreibt im Zusammenhang damit folgenden Fall aus der Züricher Klinik:

„Eine 30jährige Frau konsultiert mich wegen Schmerzen im Daumenballen der linken Hand. Sie glaubt sich einen Fremdkörper eingestochen zu haben; da aber eine Verletzung nicht nachzuweisen ist, ist es wohl nur eine Vermutung. Die Schmerzen sind drei Monate unverändert, dagegen besteht im Verlauf des n. radialis und des n. medianus Druckempfindlichkeit. Es wird die Dehnung des n. medianus beschlossen, da entlang diesem die Druckempfindlichkeit immer stärker wird. Die Operation wird ausgeführt, zunächst leichte Besserung, dann treten wieder die alten Beschwerden auf. Die Patientin sucht darauf einen Nervenspezialisten auf, und da ihr dieser erklärt, daß selbst dann ein Fremdkörper vorhanden sein könne, wenn er durch die Operation nicht gefunden werde, so hatte ich damit die Verpflichtung übernommen, diesen nicht nur zu suchen, sondern auch zu finden. Nun wollte ich noch einen letzten Versuch machen, vielleicht mit Hilfe eines starken Magneten den Fremdkörper zu verschieben oder anzunähern, um ihn vielleicht durch Palpation nachzuweisen, oder der Patientin durch Verschiebung Anhaltspunkte zu bestimmterer Lokalisation zu geben. Aber auch dieser Versuch, den ich mit Hilfe eines sehr großen Elktromagneten unternahm, schlug fehl; weder fühlte die Patientin etwas von Schmerz

noch war durch Palpation irgendeine Härte zu fühlen. Da entschloß ich mich, noch an einem sehr empfindlichen Galvanometer das eventuelle Vorhandensein eines metallischen Fremdkörpers zu prüfen. Alle metallischen Gegenstände wurden sorgfältig entfernt und nun der schmerzhafte Daumenballen dem einen Ende der Galvanometernadel genähert und siehe da — sofort trat eine erhebliche Ablenkung derselben ein."

Dabei wurde aber nun die Nadel nicht nur abgelenkt, sondern wenn man den peripheren Teil des Daumenballens der Nadelspitze des Galvanometers näherte, so schlug die Nadel nach der einen Seite und bei Annäherung des zentralen Teils des Daumenballens nach der entgegengesetzten Seite aus. Indem man nun das vordere oder hintere Teil des Daumenballens dem einen oder dem anderen Ende der Galvanometernadel annäherte, konnte durch die Einstellung der Nadel auf einen ganz bestimmten Punkt das vordere und das hintere Ende des Fremdkörpers und damit nicht nur seine Lage, sondern auch seine Länge bestimmt werden, die auf 1,5 cm angenommen wurde.

K o c h e r operierte noch an demselben Tage und konnte eine oxydierte, 12 mm lange Nadelspitze, die in Längsrichtung der Unterfläche des abductor pollicis brevis anlag, entfernen.

Wenige Wochen nach der Veröffentlichung Kochers, am 17. Juni 1884, hatte D u m o n t in einer Sitzung des medizinisch-pharmazeutischen Bezirksvereins von Bern Gelegenheit, ebenfalls über die Entfernung eines Fremdkörpers zu berichten, und zwar mittels einer Magnetnadel.

D u m o n t sah sich vor die Aufgabe gestellt, ein Stück einer Stecknadel, die einer Patientin in den abschüssigen inneren Teil des rechten Thenar eingedrungen war, zu entfernen. Nachdem ein Einschnitt über der betreffenden Stelle gemacht war, ließ sich trotz intensiven Suchens die Nadel nicht finden. Es blieb daher nichts anderes übrig, als die Operation abzubrechen. Die Beschwerden nahmen nun aber ständig zu, so daß Gegenstände, die die Patientin in der Hand hatte, nicht mehr gehalten werden konnten, sondern zu Boden fielen. Objektiv ließ sich zu der Zeit — mit Ausnahme einer kaum merklichen kleinen Narbe an der Innenfläche des Thenar — äußerlich nichts Besonderes wahrnehmen. D u m o n t näherte nun, nachdem alle metallischen Gegenstände im Umkreis entfernt waren, eine

astatische Nadel dem rechten Daumenballen der Patientin, aber die Nadel gab keinen Ausschlag. Es wurde nun der rechte Daumenballen zunächst einige Male über einen sehr starken Elektromagneten gestrichen, ohne daß jedoch die Patientin irgendetwas dabei wahrnahm. Darauf wurde die Hand zum zweiten Male der astatischen Nadel genähert, welche jetzt plötzlich einen ganz erheblichen Ausschlag zeigte. Die Nadel blieb immer an einer Stelle, welche der Basis des Metacarpale I entsprach, stehen. Sobald der Daumen nach links oder nach rechts von dieser Stelle verschoben wurde, trat ein Ausschlag ein. An diesem Punkte mußte also Metall vorhanden sein, und derselbe wurde daher mit Tinte angezeichnet.

Nun wurde eine Nadel von ihrer Aufhängung abgenommen, um sie frei schwingen zu lassen und um damit den zweiten Pol zu finden und daraus die Länge und Lage der Stecknadel genauer bestimmen zu können. Hier war Dumont — offenbar wegen der Dicke der Muskulatur — nicht so glücklich wie beim ersten Male, denn die Nadel schwankte hin und her, ohne auf einen bestimmten Punkt zu zeigen. An dem angezeichneten Punkt wurde die Haut gespalten, und tatsächlich lag gegen den m. opponens hin das gesuchte Nadelstück.

Bei Betrachtung der Methoden von Kocher und Dumont möchte ich noch darauf hinweisen, daß in den Fällen, in denen der Fremdkörper der Hautoberfläche ziemlich parallel lag, das Verfahren, was Bestimmung der Richtung und der Lage betraf, an Genauigkeit wenig zu wünschen übrig ließ, daß aber diese Bestimmung schon schwieriger wurde, wenn, wie in dem zuletzt beschriebenen Fall, die Nadel schräg, also mit dem einen Ende weiter von der Hautoberfläche entfernt lag als mit dem anderen. Die Bestimmung des Nadelpols, welcher der Hautoberfläche naheliegt, bereitet ja keine Schwierigkeit, aber die Bestimmung des anderen Endes wird um so unsicherer, je mehr der Winkel der Nadel mit der Hautoberfläche gegen oder über 45° wächst. Schon bei einem Winkel von 45° Grad kann, bei der größten Annäherung des einen Magnetnadelpols an die tiefer liegende Spitze, die magnetische Einwirkung der letzteren völlig aufgehoben werden durch die andere, der Hautoberfläche näher liegende Spitze. Noch unsicherer wird natürlich das Verfahren, wenn die ganze Nadel sehr tief liegt.

Als eine weitere Fehlerquelle für genauere Lage- und Längenbestimmung möchte ich noch erwähnen, daß beim Magnetisieren in Fällen, in denen man ohne Kenntnis der Achse des zu magnetisierenden Körpers in beliebiger Richtung mit dem Magnete streicht, sich nicht immer nur zwei endständige Plus- bzw. Minuspole, sondern zuweilen noch mehrere dazwischenliegende Pole, sogenannte Knotenpunkte bilden. Man glaubt dann vielleicht mit der Magnetnadel die beiden Hauptpole gefunden zu haben, aber der eine — gewöhnlich der tiefer liegende — ist vielleicht nur ein solcher Knotenpunkt.

Angeregt durch die Versuche von Kocher und Dumont beschäftigte sich im Jahre 1887 C. Kälin in Zürich eingehend mit dem Nachweis metallischer Fremdkörper mit Hilfe des Galvanometers und der galvanischen Nadel. Für seine Versuche legte er sich eine kleine Sammlung verschiedener Fremdkörper an, wie sie erfahrungsgemäß in der Praxis am häufigsten beobachtet werden. Bei den ersten Versuchen benutzte er ein hochempfindliches Spiegelgalvanometer als Anzeigeinstrument. Die äußerste Grenze der Entfernung, in welcher das Instrument eben noch einen Ausschlag gab, wurde bestimmt, und zwar zuerst bei nichtmagnetisierten, darauf bei magnetisierten Metallstücken.

Beachtenswert war daraufhin, daß die magnetisierbaren metallischen Fremdkörper, ohne daß sie magnetisch gemacht wurden, aus ziemlicher Entfernung schon einen deutlichen Ausschlag verursachten. Bei größeren Stücken schwankte die Entfernung zwischen 10 und 95 cm, bei kleineren zwischen 5 und 15 cm. Man hatte also mit dem Spiegelgalvanometer recht befriedigende Erfolge, leider aber war es ein Instrument, das den Anforderungen der Praxis kaum genügen konnte. Erst einmal seines hohen Preises wegen, dann aber auch wegen seiner Kompliziertheit und der schonenden Behandlung, die es erforderte. Weiterhin verlangte das Instrument, da es stets schnell aufgestellt werden mußte, eine bestimmte Lage des Fremdkörpers, und es erhellt daraus, daß nur in den Armen und in der Hand, viel weniger schon im Fuß sitzende Fremdkörper sich für diese Methode eigneten.

Nicht zuletzt aus oben angeführten Gründen machte sich nun Kälin an seine Versuche mit der astatischen Nadel. Zu diesen Versuchen benutzte er zunächst die durch Streichen an einem Hufeisenmagneten schwach magnetisier-

ten Fremdkörper, wie bei den Galvanometerversuchen. Die starke Magnetisierung wurde durch einen Riesenmagneten erreicht. Um sich nun über die Leistungsfähigkeit der astatischen Nadel ein möglichst genaues Bild zu schaffen, wurde ein Nadelpaar von 14 mm Nadellänge und 45 mm Nadeldistanz in einer Glasröhre nach außen hin abgeschlossen und letztere über dem Nullpunkt eines Meterstabes fixiert. Durch Verschieben auf diesem konnte man nun die Entfernung bestimmen, in der das Nadelpaar noch eine deutliche Ablenkung zeigte.

Vergleicht man die hier gefundenen Zahlen für die schwach magnetisierten Fremdkörper mit den bei den Galvanometerversuchen festgestellten, so ergibt sich für die Leistungsfähigkeit der astatischen Nadel, daß die Entfernung des Fremdkörpers für den deutlichen Ausschlag meist etwa nur ein Zehntel derjenigen des Galvanometers beträgt. So bewirkt eine Nadel am Galvanometer in einer Entfernung von 60 cm einen deutlichen Ausschlag, während dieselbe Nadel am astatischen Nadelpaar eine merkliche Ablenkung in einer Entfernung von nur 7 cm bedingt. So sehr also die astatische Nadel in ihrer Empfindlichkeit dem Galvanometer auch nachstand, so stellte sie doch für die Praxis ein viel mehr verwendbares Instrument dar, weil sie leicht zu beschaffen und zu handhaben war. Zudem gestattete sie das Absuchen größerer Stellen der Körperoberfläche in einfachster Weise.

Es leuchtet ohne weiteres ein, daß, je größer der Fremdkörper, um so deutlicher der Ausschlag war und um so größer die Entfernung, in der die Ablenkung erfolgte. Wichtig ist ferner noch, daß auch, je näher das Nadelpaar dem Fremdkörper gebracht wurde, um so weniger stark die magnetische Kraft des Körpers zu sein brauchte, um einen deutlichen Ausschlag zu bewirken. Jeder größere Fremdkörper, eine Messerklinge, eine Schere oder ein Geschoß, ruft schon in erheblicher Entfernung eine Ablenkung des Nadelpaares hervor, ohne daß er vorher magnetisiert worden wäre. Kleine Fremdkörper dagegen verlangen eine möglichst starke Magnetisierung, wie sie mit dem großen Elektromagneten erreicht wird.

Das auf die ersten erfolgreichen Versuche von Kälin hin von ihm konstruierte frei schwebende astatische Nadelpaar erzielte also nicht wesentlich andere Ergebnisse als das erste in einer Glasröhre eingeschlossene. Störend bei

Anwendung des freischwebenden Nadelpaares wirkte aber die große Unruhe, das stetige Oscillieren der Nadeln, ein Umstand, dem Kleiner, Zürich, durch Konstruktion eines neuen, weniger empfindlichen Instrumentes Abhilfe schaffte. Dieses Instrument sieht nun folgendermaßen aus:

Als Fußgestell dient eine runde Kupferkapsel von 6 cm Durchmesser und 2 cm Höhe. Oben ist die Kapsel durch eine in Grade eingeteilte Glasscheibe abgeschlossen. In dieser Kapsel ist die untere, 5,5 cm lange Magnetnadel eingeschlossen. Auf die Kapsel aufgesetzt ist eine Glasröhre von 12 cm Länge und 1,75 cm Durchmesser, welche die übrigen Teile der astatischen Nadel enthält. Die zweite Nadel wurde durch einen Eisenkern von 1 cm Länge und 0,5 cm Dicke ersetzt. Der Abstand zwischen diesem und der Nadel beträgt 7,5 cm. Die astatische Nadel ist oben und unten an einem haardünnen Faden befestigt, welchen man noch durch eine Schraube anziehen kann. Die Glasröhre ist zudem noch in einer seitlich durchbrochenen Messingröhre eingeschlossen.

Auch mit diesem Apparat wurden ausgezeichnete Resultate erzielt. Stark sowie schwach magnetisierte Fremdkörper wirkten auf den Apparat in fast genau derselben Entfernung, wie auf die freischwebende astatische Nadel. Da aber der Apparat vor dieser ganz erhebliche Vorteile bot, war er für die Praxis weit besser geeignet, machte sich bald unentbehrlich und war noch um die Jahrhundertwende in Gebrauch.

In den folgenden Jahren beschäftigten sich eine ganze Reihe namhafter Chirurgen und Physiker mit den Methoden der elektrischen und magnetischen Fremdkörperlokalisation. Je nachdem, ob sie mit ein- oder zweiteiligen Fremdkörpersonden arbeiteten, will ich sie hier in zwei Gruppen einteilen.

Verfahren der letzteren Art sind von Watkin, Jödicke und Cohen angegeben, Verfahren mit der einteiligen Sonde von Alex Graham Bell und Harvey Girdner sowie Loewenthal und Nienhold.

Das Verfahren von Watkin beruht darauf, daß bei Berührung einer Polspitze einer Pinzette mit dem Fremdkörper sich deren wirksame Oberfläche vergrößert, der elektrische Widerstand des Gewebes sich also verringert. Der Ausschlag des eingeschalteten Milliampèremeters nimmt daher zu, er kann jedoch verschieden groß sein. Um

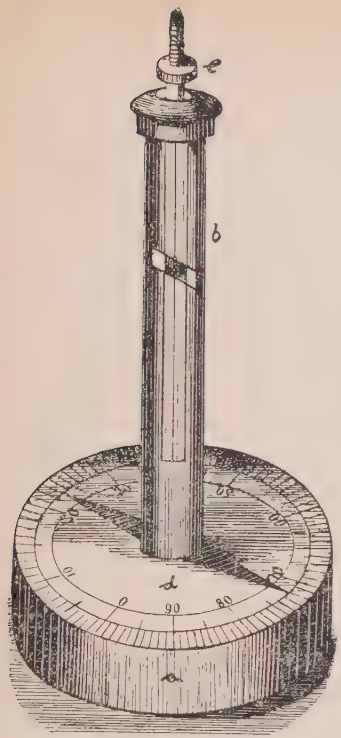


Abb. 3. Astatisches Nadelpaar, angegeben von Kleiner, Zürich.
a = 2 cm hohe Kupferkapsel, die untere Nadel enthaltend.
b = 12 cm hohe Glasröhre, die obere Nadel in Form eines Eisenkernes enthaltend und von einer Messinghülse umgeben.
c = Schraube zum Nachstellen des Fadens, an dem die Nadeln aufgehängt sind.
d = In Grade eingeteilte, die Kupferkapsel bedeckende Glasscheibe, an der die Ablenkung der Magnetnadel ablesbar ist.

sich zu vergewissern, daß die Sonde (die Pinzette ist ja eine zweiteilige Sonde) wirklich den Fremdkörper berührt, kann man es auch durch Drehen der Sonde erreichen, daß die beiden Elektroden (die beiden Arme der Pinzette) den Fremdkörper berühren. Dabei werden sie durch das Metall kurzgeschlossen und das Milliamperemeter geht weit über die Skala hinaus.

Der Nachteil dieses Verfahrens ist die nötige große Dicke der Sonde, weil hierdurch beim Einstechen in das Gewebe dieses stark zerrissen wird. Ein weiterer Nachteil ist der, daß der Fremdkörper doch immer beide Elektroden berühren und kurzschließen muß, wenn man ganz sicher gehen will.

Das Verfahren von Jödicke ist denkbar einfach und beruht darauf, daß durch Kontaktschluß mittels einer Pinzette eine kleine Lampe zum Aufleuchten gebracht wird. Bei seinem sogenannten „Kugelsucherapparat" benutzt Jö-

dicke also statt eines Milliampèremeters (Watkin) eine durch eine Taschenlampenbatterie gespeiste Glühbirne.

Eine sondenförmig zugespitzte Pinzette ist oben durch eine Isoliermasse getrennt, an jedem Arm ist eine Schraube angebracht und von diesen beiden Schrauben führt ein Leitungsdraht zu einer gewöhnlichen Taschenlampe. Damit bei enger Berührung der Pinzettenenden kein Kurzschluß eintrat, wurde an einer Branche ein dünner Gummischlauch angebracht.

Vermutet man nun in einer Wunde einen metallischen Fremdkörper. so führt man das Instrument ein und sondiert. Wird dieser berührt, flammt die Lampe auf. Bei unverletzter Haut oder dort wo man tiefere Sondierungen vornehmen muß, ist das Instrument derart geändert, daß die Enden in zwei feine spitze Nadeln auslaufen, mit denen man tief, ohne Schaden anzurichten, in das Gewebe einstechen kann. Auch hierbei wird durch das Aufstoßen auf das Metall ein Kontakt ausgelöst und die Lampe leuchtet auf.

Im Jahre 1915 beschreibt Cohen eine elektrische Fremdkörpersonde mit Annäherungsanzeigevorrichtung, der als wesentliches Moment die Ampère'sche Schwimmregel zugrunde liegt, die folgendermaßen lautet: Man denke sich einen Menschen in Richtung des Stromes schwimmend so, daß der positive Strom an den Füßen eintritt und am Kopfe austritt. Das Gesicht sei dem Nordpol der Magnetnadel zugewendet, so wird diese immer nach der linken Seite des Beobachters abgelenkt, der Nordpol schlägt also nach der linken Seite des Beobachters aus. Es handelt sich also um die Ablenkung einer Magnetnadel durch das Schließen eines Stromes.

Durch die Sonde wird ein geöffneter Stromkreis in die Operationswunde eingeführt. Der aus zwei Trockenelementen herrührende Strom tritt in die Sonde ein und durchläuft sie bis zu ihrem Ende, welches folgendermaßen angeordnet ist: Anode sowie Kathode enden in zwei Polen, die so angeordnet sind, daß immer ein positiver auf einen negativen Pol folgt, so daß durch Berühren zweier Pole stets ein Stromschluß stattfindet und die Möglichkeit der unmittelbaren Kontaktherstellung zwischen Fremdkörper und Sonde verdoppelt wird. Der durch Berührung zwischen beiden geschlossene Strom bringt die Nadel eines Galvanoskops zum Ausschlag um 90° bzw. zur dauernden Rotation.

Obgleich man nun in der Lage war — schon durch das Verfahren von Watkin — allein durch das Galvanoskop das Vorhandensein eines Fremdkörpers durch Berühren mit der Sonde festzustellen, so war es doch entschieden erwünscht, bereits die jeweilige Annäherung und Entfernung der Sonde vom Fremdkörper durch eine Anzeigevorrichtung sichtbar zu machen. Zu diesem Zwecke ist bei dem Gerät von Cohen eine besondere Vorrichtung getroffen:

Wenn das Sondenende sich beispielsweise in einer gewissen Entfernung vom Fremdkörper befindet, so wird durch Muskulatur und Gewebsflüssigkeit nur eine geringe Leitung des Stromes stattfinden. Hierdurch wird ein Teil des Stromes geschlossen, es wird aber ebenso ein anderer des Stromes zum Fremdkörpere hin und zurückgelangen, so daß die zwischen diesem und dem Sondenende liegende Muskulatur und Gewebsflüssigkeit nur eine geringe Leitung des Stromes stattfinden. Hierdurch wird ein Teil des Stromes geschlossen, es wird aber ebenso ein anderer Teil des Stromes zum Fremdkörper hin und zurückgelangen, so daß die zwischen diesem und dem Sondenende liegende Muskulatur und Gewebsflüssigkeitsschicht sozusagen als Widerstand dient. Diese Tatsache machte sich Cohen zur Annäherungsanzeige zunutze. Von den Klemmschrauben, die die Verbindung zwischen der Sonde und den Instrumenten herstellen, wurde eine zweite Stromkreisabzweigung geschaffen, in die ein empfindliches, speziell berechnetes Galvanoskop eingeschaltet ist. Dieses zeigt nun den durch den geringen Leitungskoeffizienten der Muskulatur in seiner Intensität erheblich geschwächten Strom überhaupt nicht an, oder höchstens mit einem ganz geringen Ausschlag. Ein anderer Teil des Stromes, der bis zu dem Fremdkörper gelangt ist, erfährt durch die dazwischenliegende Muskulatur dauernd eine Veränderung in seiner Intensität.

Da sich nun infolge der Annäherung an die Sonde oder durch die Entfernung von derselben die Stromintensität dauernd ändert, kommt das erste Galvanometer zum Ausschlag, welcher um so größer wird, je mehr die Stromintensität wächst, d. h. also je mehr sich das Sondenende dem Fremdkörper nähert. An Hand dieser Vorrichtung nähert man sich mit der Sonde dem Fremdkörper bis zu einem bestimmten Punkt, an dem die Stromstärke den erforderlichen Grad erreicht hat, um das zweite Galvanometer zum Ausschlag zu bringen. Nun befindet sich das Sondenende

in unmittelbarer Nähe des Fremdkörpers. Findet jetzt sogar ein direkter Kontakt zwischen Sonde und Metall statt, so dreht sich die Nadel des zweiten Galvanometers um 90 oder rotiert dauernd. Falls die Ablesung der Annähe-

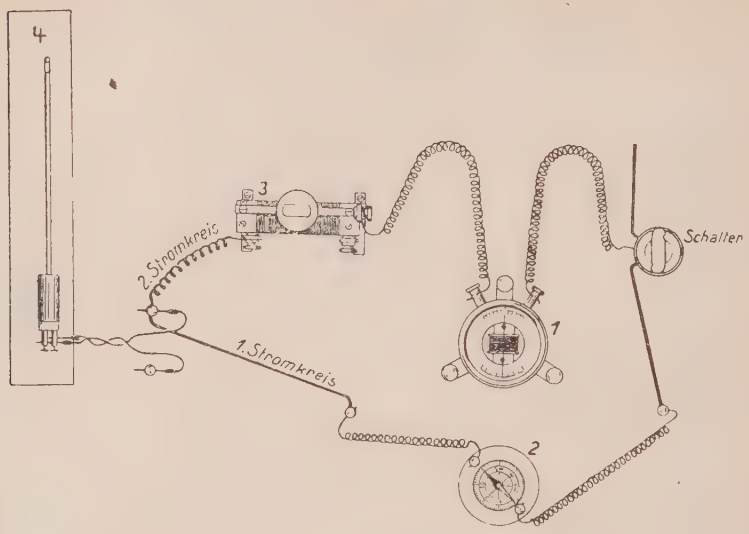


Abb. 4. Fremdkörpersonde von Cohen.
1 = Saitengalvanoskop zur Annäherungsanzeige.
2 = Nadelgalvanoskop zur Berührungsanzeige.
3 = Widerstand zum Regulieren der Stromstärke.
4 = Fremdkörpersonde.
(Entnommen der Münch. med. Wschr. 1915/20.)

rung oder der Entfernung von dem zweiten Galvanometer Schwierigkeiten bereiten sollte, so ist man in der Lage, durch einen eingeschalteten Widerstand die Ausschläge dieses Instrumentes bei verschiedener Stromstärke zu kontrollieren.

Eine Veröffentlichung der klinischen Erfolge bei mit dem Cohen'schen Gerät ausgeführten Operationen wurde anläßlich der Sitzung des Aerztlichen Vereins zu Hamburg dortselbst am 23. Februar 1915 gegeben. Cohen hatte selbst seinerzeit mit dem Gerät ausgezeichnete Erfolge. Er weist bei einer Veröffentlichung seiner Ergebnisse im Mai 1915 besonders darauf hin, daß es sich bei den von ihm mit seinem Gerät behandelten Fällen um Fremdkörper aller Art handelte und die jeweilige Legierung keinen Einfluß auf das Verfahren hatte.

Eine kurze Uebersicht der Fälle, bei denen ein Geschoß mit der Cohen'schen Fremdkörpersonde aufgefunden wurde, sei nachstehend aufgeführt.

1. Steckschuß im Oberschenkel. Einschuß in der Mitte der lateralen Seite. Wunden bereits vernarbt, heftige Schmerzen beim Gehen und Stehen. Nach erfolgter Röntgenaufnahme soll das Geschoß entfernt werden. Mit der Sonde wird die Kugel schnell gefunden, die sich mit der Spitze in den femur eingebohrt hat.

2. Steckschuß im Oberarm. Die Röntgenaufnahme zeigt ein Schrappnellstück bei Supinationsstellung vor dem humerus. Bei der Operation findet die Sonde das Schrappnellstück nach hinten gelagert und zeigt das Vorhandensein eines zweiten Splitters an, der ebenfalls entfernt wird.

3. Granatsplitter in der fossa temporalis. Starke neuralgische Schmerzen und Kaubeschwerden. Die Sonde lokalisiert den Fremdkörper unmittelbar hinter dem proc. zygomaticus.

4. Steckschuß in der fossa poplitea. Die Sonde lokalisiert sofort den genauen Sitz des Fremdkörpers.

5. Entfernung einer Schrappnellkugel aus dem epistropheus. Der Patient hält den Kopf vor der Operation in Zwangsstellung nach vorn gebeugt. In der Halsgegend finden sich bedeutende Sensibilitätsstörungen. Alle Bewegungsversuche des Kopfes sind durch große Schmerzen unmöglicht gemacht. Die Röntgenaufnahme von der Seite (da von vorn nicht möglich) zeigt eine Kugel scheinbar vor dem epistropheus liegend. Nachdem man diesen freigelegt hat, findet sich aber dort kein Fremdkörper. Die Sonde bringt den Annäherungsapparat beim Berühren des Wirbelkörpers zu großem Ausschlag, der sich noch erheblich vor dem proc. articularis cranialis vergrößert. Auch das zweite Galvanoskop wird stark erregt. Auf Grund des Ausschlages werden einige Millimeter vom Knochen an der Ansatzstelle des Fortsatzes abgemeißelt. Die Kugel findet sich im Wirbelkörper steckend und wird mit Leichtigkeit entfernt. Sämtliche Erscheinungen, auch die Sensibilitätsstörungen, gehen zurück, und der Patient ist völlig wiedergergestellt.

6. Gehirnschuß. Einschuß am os frontale. Die Sonde findet nach Trepanation das am Schädeldach nach hinten gegangene Schrappnellstück ca. 3 cm vom Einschuß entfernt unter der Dura liegend.

In allen weiteren Fällen, in denen der Fremdkörper vornehmlich in der Muskulatur saß, lokalisierte die Sonde in jedem Falle den genauen Sitz des Fremdkörpers.

Diese Ergebnisse erscheinen zwar recht zufriedenstellend, aber im Ganzen gesehen hatte auch dieses Verfahren seine Nachteile. Als Meß- und Anzeigeinstrumente erwiesen sich die Nadelgalvanoskope mit der Zeit als ungeeignet. Die Nadel pendelte fortwährend infolge ihrer Trägheit und geringen Dämpfung bei kleinsten Widerstandsänderungen mit großer Amplitude hin und her, was bei dem dauernden mehr oder weniger starken Zusammendrücken von Muskelbündeln nicht verwundern kann. Nun hat die Technik jedoch gut gedämpfte Drehspulinstrumente geschaffen von beliebig großer Empfindlichkeit, die den Aenderungen des Stromes sofort folgen. ohne stark zu pendeln oder sich im Kreise herumzudrehen. Durch ein Drehspulenmilliampèremeter mit gut gewähltem Meßbereich und passendem inneren Widerstand für die betreffende Sondengröße erreicht man dasselbe, was C o h e n durch Galvanoskope erreicht. Darüber hinaus kann man sogar bei Annäherung an den Metallkörper ein geringes, aber doch sicheres Steigen der Stromstärke erkennen, während dies bei den Nadelgalvanoskopen doch sehr unsicher war. Die Differenz der Stromstärke beim Annähern oder Entfernen der Sonde vom Metallkörper ist natürlich dieselbe, ob man nun ein Drehspulenmilliampèremeter oder ein Nadelgalvanoskop benutzt. wenn ihre inneren Widerstände gleich bei gleicher Empfindlichkeit sind. Dagegen sind die Sicherheit und die Genauigkeit im Ablesen der Stromstärkeveränderungen beim Drehspuleninstument eine hundertmal größere wie beim pendelnden Nadelgalvanoskop. Wenn man ferner das Verfahren von C o h e n als Annäherungsverfahren benutzten will. so muß man verhältnismäßig große Elektrodenoberflächen am Ende der Sonde zur Verfügung haben. was zu einer Sondendicke von 6—8 mm führt. Dieses Maß ist natürlich für eine Sonde zu groß.

Wenn man außerdem theoretisch die Dichte der Stromlinien. die von den Elektroden der Sonde ausgehen, für einzelne Punkte der Umgebung berechnet. so läßt sich ohne weiteres einsehen. daß eine Annäherung der Sonde an den Metallkörper. ohne Berührung desselben. kaum eine merkliche Aenderung der durch das Galvanoskop fließenden Stromstärke herbeiführen kann.

So bleibt das Cohen'sche Verfahren, trotz seiner sehr komplizierten Anordnung, doch hauptsächlich nur ein Kontaktverfahren und nur in sehr geringem Maße ein Annäherungsverfahren.

Es wird also bei allen drei oben beschriebenen Verfahren mit zweiteiligen Sonden im wesentlichen nicht eine Annäherung, sondern nur eine Berührung angezeigt.

Methoden der Fremdkörperlokalisation mit der einteiligen Sonde sind von Bell und Girdner überliefert, die von ersterem angegeben, von letzterem angewendet wurden. Loewenthal und Nienhold haben diese dann wesentlich verbessert.

Bei dem von Bell und Girdner angegebenen „Fremdkörpertelefon", das später von Kaufmann verbessert wurde, wird als Quelle für den elektrischen Strom der Körper des Patienten mitverwendet und die durch das Ankommen am Metallsplitter hervorgerufenen Schwankungen dieses Stromes werden mit Hilfe eines Mikrofons als knarrende Geräusche wahrgenommen. Der elektrische Strom wird dabei ähnlich wie in den Elementen unserer Türklingeln erzeugt. In einer verdünnten Salzlösung, welche den Körper des Operierten darstellen soll, sind zwei verschiedene Metalle eingetaucht.

Kaufmann verwendet nun ein Platinblech, welches er mit Salzwasser angefeuchtet in die Nähe der Operationswunde klebt und einen Silberdraht, der, um ein chirurgisches Instrument gewickelt, in die Wunde eingeführt wird. Von den beiden Metallen führen Leitungsdrähte zu einer Telefonmuschel oder einem Kopfhörer. Solange der eingeführte Silberdraht sich im Körpergewebe befindet, hört man nur ein leises eintöniges Rauschen. In dem Augenblick aber, in dem der Silberdraht an ein im Körper befindliches Metallstück kommt, hört man im Telefon ein deutliches Knarren, welches sich jedesmal wiederholt, wenn man an das Stückchen anstößt.

Es ist also keine besondere Quelle für den elektrischen Strom zum Telefon nötig, denn derselbe wird durch die Anordnung der ganzen Untersuchungseinrichtung im Körper erzeugt.

In Versuchen zeigte es sich, daß nicht unbedingt Silberdraht dafür notwendig war, sondern daß man schließlich jedes chiurgische Instrument als zweites Metall in der Anordnung benutzen konnte.

Im einzelnen besteht die Apparatur aus einer Telefonhörmuschel, welche mit Hilfe eines Gegengewichtes für das andere Ohr federnd so am Kopf befestigt wird, daß die Geräusche aus der Muschel leicht das eine Ohr erreichen. Von der Muschel und vom Gegengewicht geht je ein isolierter Draht ab, der in je einer Aufrollvorrichtung, die an der Schulter des Operateurs befestigt wird, endigt. Die Aufrollvorrichtung dient dazu, daß der von ihr zum Operationsfeld abgehende Draht stets gespannt bleibt und nicht durch Hineinfallen in die Wunde die Asepsis stört. Der Draht, der auf jeder Seite den Strom von den Aufrollvorrichtungen fortleitet, endigt als kleiner Steckkontraktstift. Auf einen dieser Steckkontaktstifte wird ein sterilisierbares Metallröhrchen gesteckt, welches wieder als Steckkontakthülse endigt. In eine dieser Steckkontrakthülsen wird die sterile sogenannte Wundsperrelektrode (das oben erwähnte Platinblech nach K a u f m a n n in abgeänderter Form), und in die andere Steckkontakthülse das Operationsinstrument eingefügt, welches natürlich ganz aus Metall bestehen muß. Dazu wurden besondere, leicht sterilisierbare Kontaktklemmschrauben konstruiert, in welche einerseits ein jedes Operationsinstrument leicht eingeschraubt werden kann und die andererseits in die Steckkontakthülse hineinpassen. Die Kontaktklemmschrauben passen für Pinzetten, Scheren, Skalpelle, Sonden, Kornzangen usw., die wie sonst während der Operation gewechselt werden können.

Vor der Operation werden je nach Bedarf einige der Kontaktklemmschrauben sowie die zwei Verbindungsmetallröhrchen und die Wundsperrelektrode mit den Operationsinstrumenten ausgekocht und danach die Kontaktklemmschrauben an den voraussichtlich zunächst bei der Fremdkörperentfernung gebrauchten Instrumenten festgeklemmt. Der Operateur befestigt sich vor dem Waschen das Telefon am Ohr oder läßt es sich bei unvorhergesehenen Fällen von einem Asistenten auch während der Operation aufsetzen.

Nach dem Operationsschnitt wird die Wundsperrelektrode in eine Wundecke eingesetzt. Sind nun alle Verbindungen hergestellt und hat man in die Steckkontakthülse des rechten Verbindungsmetallröhrchens das benötigte Instrument gesteckt, so kann die Suche nach dem Fremdkörper beginnen. Das Rattern im Telefon zeigt an, daß man am Ziel angelangt ist. Da das Rattern jedoch nur im Augenblicke der Berührung eines metallischen Fremdkörpers

durch das Operationsinstrument auftritt, so empfiehlt sich, das Instrument nicht träge an dem in dem Patienten gefundenen, auf einen Fremdkörper verdächtigen Gebilde in Erwartung eines Knarrens stehen zu lassen, sondern durch Bewegen und Sticheln an diesem Gebilde den Kontakt zwischen Instrument und Suchobjekt öfter zu unterbrechen. Falls das verdächtige Gebilde ein metallischer Fremdkörper ist, so wird jeder neue Kontakt ein Rattern im Telefon hervorrufen.

Die Erfolge, die mit diesem, in obiger Form zuletzt von Holzknecht und Wachtel angewendeten Verfahren erzielt wurden, beschränkten sich vornehmlich auf die Fälle, in denen es kleinere Splitter zu entfernen galt. Für den Fall, daß in einem Bereich, der von einer Incisionsstelle aus zu beherrschen ist, mehrere Splitter lagen, machten obengenannte Autoren den Vorschlag, diese erst einmal auf dem Röntgenbild zu zählen und sie dann mit einer feinen Sonde so lange zu suchen, bis die volle Zahl gefunden war.

Es hört sich dies zwar sehr einfach an, doch ist zu bedenken, daß das Auffinden bzw. das Zählen kleinster Metallsplitter, besonders wenn sie aus Leichtmetall sind, auf dem Leuchtschirm durchaus keine Kleinigkeit, ja oft sogar unmöglich ist. Zudem brachte dieser Vorschlag auch nichts wesentlich neues, denn diese sogenannte Fremdkörperharpunierung — wenn auch nicht mit der Sonde, sondern mit langen spitzen Nadeln – war den Röntgenologen schon seit einiger Zeit bekannt.

Im Jahre 1915 entwickelten Loewenthal und Nienhold eine Fremdkörpersonde, die nicht an einen Telefonhörer, sondern an ein Milliamperemeter angeschlossen ist und die gegenüber der von Bell und Girdner angegebenen einen großen Vorteil bietet. Versagte letztere, wenn die aufzufindenden Metallstücke gar zu klein waren, so erzielte man jetzt selbst bei sehr kleinen Splittern noch sehr große Milliampèremeterausschläge, was das Verfahren gleichzeitig für die objektive Beobachtung brauchbarer machte.

Loewenthal und Nienhold gingen nun von folgenden Ueberlegungen aus: Bei der gewöhnlichen Girdner'schen Sonde ist der elektrolytische Widerstand zwischen Flächenelektrode und menschlichem Körper für gewöhnlich nicht sehr klein (100 Ohm bei einem der Versuche), wäh-

rend der Uebergangswiderstand von der Sonde zum Gewebe 300 Ohm betrug. Durch Berührung der Sonde mit dem Splitter wurde dieser Widerstand von 300 auf 250 Ohm verringert und der Gesamtwiderstand änderte sich also von 400 auf 350 Ohm bei Berührung des Fremdkörpers. Der Uebergangswiderstand zwischen Sonde und Gewebe wird also immer in dem Augenblick verkleinert, in dem die Sonde den Fremdkörper berührt, weil dann eine größere Elektrodenfläche zum Ein- oder Austritt des Stromes zur Verfügung steht. Je größer aber die Aenderung des Uebergangswiderstandes ist, um so stärker ist die Stromstärkedifferenz, um so deutlicher markiert sich die Berührung der Sonde mit dem Fremdkörper. Wenn man also einen maximalen Ausschlag des Milliampèremeters erreichen will, muß die Aenderung des Uebergangswiderstandes an der Sonde sehr groß sein. Man mußte darum die Sondenoberfläche sehr klein wählen, wenn bei Berührung mit einem sehr kleinen Granatsplitter die wirksame Elektrodenoberfläche der Sonde wesentlich vergrößert werden, der Uebergangswiderstand also stark geändert werden sollte. Dies erreichte man dadurch, daß man eine sehr dünne 12 cm lange Stahlnadel mit einer ganz dünnen Isolierschicht überzog und nur 0.5 mm an der Spitze unisoliert ließ. Berührt eine solche Sonde ein Metallstück in irgendeinem Muskel, so wächst die Stromstärke (am Milliampèremeter angezeigt) von 1 auf 10 Milliampère. Ausschläge, die man sonst nicht annähernd erreichen kann. Ein Stückchen Kupferdraht von 1 mm Dicke und 4 mm Länge als Fremdkörper verursachte einen Ausschlag von 1 auf 2 Milliampère (von 10 Skalenteilen auf 20 Skalenteile).

Es ist auch fast gleichgültig, ob die Sonde die Anode oder die Kathode darstellt. Als Anode pflegt sie in der Regel etwas günstiger zu wirken, weil an der Anode weniger Gas abgeschieden wird, und dadurch der Kontakt mit dem Gewebe sicherer ist.

Einen gewissen Vorteil bietet die geringe Elektrodenoberfläche auch dadurch, daß bei ihrem Auftreffen auf schlechte Leiter, z. B. Knochen, der Ausschlag zurückgeht, so daß also Metall und Knochen entgegengesetzte Ausschläge bewirken, was vor einer Verwechslung von Metallstückchen und Knochensplittern schützt. Selbst Tuchfetzen werden unter Umständen durch eine solche negative Schwankung des Milliamperemeters angezeigt. Die Asepsis

der Nadel ist dadurch gewährt, daß man sie jedesmal vor Benutzung auskocht, wodurch die Isolierung nicht geschädigt wird. Das benötigte Instrumentarium besteht also bei diesem Gerät im wesentlichen nur aus Taschenlampenbatterie. Milliampèremeter, großer Flächenelektrode, Drahtsonde und Zuleitungsdrähten.

Das Verfahren stellt aber auch mehr oder weniger nur ein Kontaktverfahren dar. Aus der Beschreibung der Autoren geht hervor, daß sie sich die Anwendung des Gerätes so dachten, daß man nach Vorlokalisation des Fremdkörpers durch Röntgenstrahlen mit der sehr dünnen Sonde erst einmal die Lage des Metallsplitters sicher feststellen und dann erst incidieren wollte, wobei das Vorgehen nun natürlich ein recht sicheres war.

Den großen Vorteil dieses Verfahrens sahen Loewenthal und Nienhold hauptsächlich darin, daß man mit der dünnen Nadel viel öfter das Gewebe durchstechen konnte, ohne es zu schädigen, wie mit den zweiteiligen Sonden von Cohen und Jödicke. Als Annäherungsverfahren allerdings ist diese Methode ebensowenig wie die bisher beschriebenen zu verwerten.

Gegen Ende des Weltkrieges tritt in Frankreich Bergonié mit seinem Elektrovibreur an die Oeffentlichkeit, einem Lokalisationsverfahren, das der französische Physiker Henrard genauer beschreibt. Aber auch diese Methode ist keine grundsätzlich neue. Es handelt sich bei dem Bergonié-Verfahren um einen Wechselstrommagneten, der, eingeschaltet, magnetisierbare Fremdkörper im Gewebe zum Erzittern bringt. Der ungefähr 5 kg wiegende Elektromagnet ist an einem Gestell aufgehängt, welches Bewegungen in allen Ebenen und Richtungen gestattet. Zu Beginn der Operation bringt man den Pol des eigeschalteten Elektromagneten an die Stelle der Hautoberfläche, an der man den Fremdkörper in der Tiefe vermutet. Nun tastet der Operateur mit der flachen Hand, ohne dabei den Magneten zu berühren, die Hautoberfläche ab und fühlt an einer bestimmten Stelle ein Maximum an Vibrationen. An dieser Stelle wird die Incision gemacht bis zu der Tiefe, in der der Fremdkörper liegt. Wird dieser nicht sogleich gefunden, dann wird die Lokalisation mit dem Elektrovibreur ein-, zwei- oder mehrmals wiederholt, solange, bis der richtige Weg durch das jedesmalige Erzittern des Fremdkörpers gewiesen wird, ein Erzittern, das an Stärke entweder zu- oder

abnimmt, je nachdem ob man den Magneten dem Fremdkörper nähert oder sich von ihm entfernt.

Die Ergebnisse, über die Delherm und Lauerrière berichten, sprechen nicht sehr für dieses Verfahren, insofern, als nicht sehr tief liegende, besonders kleinere Metallsplitter, zwar immer gefunden wurden, wenn es sich jedoch um größere oder auch nicht magnetisierbare Fremdkörper handelte, das Gerät versagte. Es ist offensichtlich, daß dieses Verfahren mehr oder weniger nur eine Behelfsmethode war, die man wahrscheinlich von den Ophtalmologen entlehnt hatte, die Ende des Weltkrieges schon auf eine Reihe von Jahren zurückblicken konnten, in denen sie sehr gute Erfahrungen bei der Extraktion von Metallsplittern aus dem Auge mit dem Elektromagneten gemacht hatten.

Zunächst auch von augenärztlichen Forderungen ausgehend, ließ sich W. Comberg (Rostock) im Jahre 1931 ein Radioverstärkergerät nach eigenen Angaben bauen, mit welchem man Metallspiltter an verschiedenen Stellen des menschlichen Körpers, besonders aber am Auge, mit ziemlicher Sicherheit nachweisen konnte.

Speziell am Auge ist die Röntgenlokalisation der Splitter in den letzten Jahren sehr verbessert worden. Es ist im allgemeinen möglich, auch die winzigsten Metallsplitter, welche in den Augapfel eindringen, röntgenologisch an der vorderen Hälfte des bulbus mit einer Genauigkeit von etwa 0.5 mm, im hinteren Bulbusabschnitt mit einer Genauigkeit von 1—2 mm zu lokalisieren. Rein rechnungsmäßig läßt sich der Ort, an welchem der Splitter sitzt, also für alle Magnetoperationen genügend genau angeben, sogar die Entfernung winziger, nicht magnetischer Splitter ist auf Grund genauer Röntgenlokalisation mehrfach ausgeführt worden. Aber es bleibt der Uebelstand bestehen, daß eine wirklich exakte und sichere Uebertragung der gefundenen Maße auf den Augapfel doch oft auf Schwierigkeiten stößt, und daß trotz der Genauigkeit der Lokalisation deshalb nicht die genügende Genauigkeit bei der Operation gewährleistet ist. Es tauchte daher bei Comberg der Wunsch auf, bei der Operation selbst noch einmal eine Lokalisationskontrolle vornehmen zu können, die einem dann die Gewißheit gab, daß an der Stelle, an der man die Gewebe durchschnitt, auch wirklich der Splitter gefunden wurde. Bei dem von Comberg angegebenen Apparat

handelt es sich um ein von Dr. ing. Jaumann (Siemens-Reinigerwerke) entwickeltes Dreiröhren - Radiogerät, welches dieser nach dem Ueberlagerungsprinzip (siehe weiter unten) so einrichtete, daß an dem eingeschalteten Gerät, wlches dauernd einen Ton abgibt, eine Tonänderung hörbar wird, wenn man eine Sonde mit einer kleinen endständigen Spule aus Metalldraht in den Umkreis eines metallischen Körpers bringt. So konnten schon im Jahre 1931 mit diesem Gerät auf 1.5 mm Entfernung Splitter festgestellt werden, die ein Gewicht von ein Hundertstel bis ein Tausendstel Gramm besaßen. Indes waren aber sonst starke Mängel vorhanden. Die jedesmalige Biegung der zuführenden Drähte beim Abtasten der Fremdkörpergegend führte stets zu Tonänderungen. die sehr störend wirkten und den Feststellungen oft jede Sicherheit nahmen.

Bei einem zweiten im Jahre 1933 hergestellten Gerät wurde dieser Fehler dadurch vermieden, daß man die zuführenden Drähte einer längeren festen Stange zuordnete, an welcher der Spulenträger etwa wie ein Hammerkopf saß.

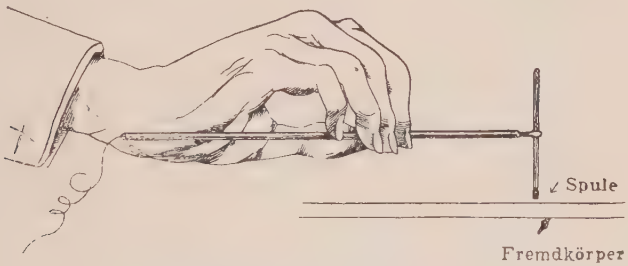


Abb. 5. Fremdkörpersonde nach Comberg und Jaumann. (Entnommen der Münch. med. Wschr. 1933/45.)

Da der Stiel des „Hammers" über 60 cm lang war, so fielen die Biegungen der stromzuführenden Drähte am Ende des Hammergriffes bei den Tastbewegungen mit der Spule sehr gering aus, und ein störender Ton trat beim Hantieren nun nicht mehr auf.

Das Gerät arbeitet mit zwei hochfrequenten Schwingungskreisen und einem gemeinsamen Gleichrichter. In jedem der beiden Schwingungskreise wird mit Hilfe einer Röhrenschaltung eine Frequenz von bestimmter Anzahl Herz (1 Herz = 1 Schwingung pro Sekunde) erzeugt. Einer der Schwingungskreise läßt sich durch einen veränderlichen Kondensator verstimmen, so daß seine Frequenz

gegenüber der des anderen Schwingungskreises um ca. 50 bis 400 Herz verstellt werden kann. Beide Frequenzen werden überlagert und dem Gitter des Gleichrichters zugeführt. Im Lautsprecher, der im Ausgangskreise liegt, ist der Ueberlagerungston hörbar. Die Prüfspule, eine kleine Spule von ca. 10 Windungen und einem Durchmesser von 3 bis 5 mm ist in einen der beiden Schwingungskreise geschaltet. Wird nun diese Spule einem Metallsplitter genähert, so ändert sich wegen der Verstimmung des zugehörigen Schwingungskreises der Ueberlagerungston.

Zunächst wird an der Aenderung des Tones ungefähr die Stelle festgestellt, wo der Splitter sitzt. Dann tastet man in zwei aufeinander senkrechten Richtungen, die sich mit der Stelle des vermuteten Splitterortes kreuzen, noch einmal die Gewebsfläche genau ab, indem man das Hämmerchen von Millimeter zu Millimeter seitlich verschiebt. Die deutlichste Tonänderung entsteht alsdann schon, wenn eine Stelle der Spulenwand nahe an den Splitter herankommt, d. h. also über dem senkrechten Projektionspunkt des Splitters auf die Gewebsoberfläche liegt. Indem man sich von allen Seiten her mit der Spule dem Orte dieser maximalen Tonänderung nähert, bekommt man auch trotz des relativ großen Spulendurchmessers noch ein sehr genaues Resultat.

Ein wichtige Zugabe bei diesem Verfahren ist es, daß man Eisen- und Nickelsplitter von anderen Metallsplittern unterscheiden kann. Eisen- und Nickelsplitter geben einen höheren Ton als der Dauersummton, die anderen Metallsplitter geben einen tieferen Ton. Das Höherwerden des Tones bei Eisen und Nickel, den beiden magnetischen Metallen, rührt daher, daß eine Aenderung der Wirbelstromverluste eintritt. Bei den anderen nichtmagnetischen Metallen dagegen tritt eine Induktivität der Suchspule auf, die das Tieferwerden des Tones zur Folge hat. Dieses eigenartige Verhalten in der Tonänderung hat auch eine gewisse praktische Bedeutung, weil der Augenarzt bekanntlich in ganz besonderem Maße daran interessiert ist, zu wissen, ob es sich um einen magnetischen oder einen nicht magnetischen Splitter handelt, denn die Operationserfolge und die Operabilität sind bei nichtmagnetischen Fremdkörpern ja erheblich geringer, und die Art des Vorgehens ist eine ganz andere. Das Comberg'sche Gerät, das dazu bestimmt war, vornehmlich den augenärztlichen Belangen zu dienen, war

also nicht nur ein Lokalisationsgerät, sondern auch ein Gerät zur Unterscheidung von Metallsplitern.

Nun sitzen die Metallsplitter fast niemals im Glaskörper und auch selten in der Linse an einer Stelle, an welcher sie nicht gesehen werden können, sondern bei den zu lokalisierenden Fällen handelt es sich fast immer um Splitter, die in der Netzhaut, Aderhaut oder im Ziliarkörper sitzen, und eine größere Entfernung als 3 mm von der Corneaoberfläche kommt also praktisch kaum in Betracht.

Von dieser Tatsache ausgehend, stellte man folgende Versuche an: Kleine Metallsplitter wurden auf Pappstücke von 1,2 und 3 mm Dicke aufgeklebt, wobei es jedesmal gelang, die senkrechte Projektion des Splitters auf der anderen Seite des Pappstückchens auf den Bruchteil eines Millimeters genau zu bestimmen. Bei den Versuchen mußte aber auch berücksichtigt werden, daß es sich am lebenden Körper um Metallsplitter in einem feuchten Gewebe handelt, welches mit elektrisch dissoziierten Salzen durchsetzt ist. Dieses hätte vielleicht andere Bedingungen für die Leitung der Ströme abgeben können, so daß besonders geprüft werden mußte, ob auch in diesem Falle die Tonänderungen in der gleichen Weise eintraten und ob die Empfindlichkeit des Gerätes die gleiche war. Es wurden deshalb die benutzten Pappstückchen mit den aufgeklebten Splittern in physiologischer Kochsalzlösung aufgeweicht und in feuchte Tücher eingepackt. Eine Aenderung in der Empfindlichkeit trat aber nicht ein. Die Tonänderungen traten genau so auf wie bei den vorangehenden Versuchen.

Combergs Gerät erwies sich, da es von augenärztlichen Forderungen ausgehend nur für außerordentlich kleine Fremdkörper gebaut war, die man höchstens noch auf 3 mm Entfernung mit Sicherheit nachweisen konnte, daher nicht für alle chirurgischen Zwecke brauchbar.

Um aber auch den Forderungen gerecht zu werden, die der Chirurg an ein solches Gerät stellen mußte, ließ sich im Jahre 1934 Küntscher (Kiel) nach eigenen Angaben ebenfalls von den Siemens-Reinigerwerken einen Apparat bauen, der auf der gleichen Idee wie das Comberg'sche Gerät beruhte.

Die Ergebnisse waren, wie ich gleich zeigen werde, ganz erheblich befriedigendere als bei dem ersten Gerät dieser Art.

So hat die Suchspule bei dem Küntscher'schen Gerät einen Durchmesser von etwa 7 mm und steckt in einem 20 cm langen, 1,5 cm dicken Handgriff. Diese Spule läßt sich ohne Schwierigkeiten auskochbar herstellen und wurde bei der Operation zusammen mit dem Handgriff einfach in ein ausgekochtes Reagenzglas gesteckt und dieses dann in die Wunde eingeführt. In dieser neuen Ausführung erwies sich das Verfahren als hervorragend geeignet für chirurgische Zwecke, und das Aufsuchen von metallischen Fremdkörpern gelang damit spielend. Der einzig verstellbare Teil des Apparates — ein Drehkondensator — wird vor der Operation auf eine beliebige Tonhöhe oder auch auf einen nicht mehr hörbaren Ton eingestellt und bleibt dann unverändert. In demselben Augenblick, wo die Spule in die Nähe des Fremdkörpers kommt, ändert sich ganz plötzlich der im Lautsprecher hörbare Ton, oder — falls der Drehkondensator vorher entsprechend eingestellt wurde — es entsteht plötzlich ein Ton. Diese Veränderung des Tones ist fortlaufend, je näher man an den Fremdkörper herankommt und rücklaufend, wenn man sich mit der Spule vom Fremdkörper entfernt. Der Ton bleibt konstant, wenn dieselbe Entfernung beibehalten wird.

Welche Fremdkörper können nun mit diesem Apparat nachgewiesen werden?

Die Versuche haben ergeben, daß alle gebräuchlichen Metalle, die für eine chirurgische Entfernung in Frage kommen, damit festgestellt werden können. Die Art des Metalles hat dabei nur ganz geringen Einfluß, denn durch geeignete Wahl der Wellenlänge der beiden hochfrequenten Schwingungskreise kann man erreichen, daß beim Annähern an Eisen und Nickel, auf Grund der magnetischen Eigenschaften dieser Metalle, eine Vergrößerung der Induktivität der Spule eintritt, bei anderen Metallen dagegen infolge der im Splitter auftretenden (schon beim Comberg'schen Gerät erwähnten) Wirbelströme eine Verkleinerung. Der Ton, der ja durch die Interferenz der Wellen der beiden Hochfrequenzschwingungskreise zustandekommt, wird dann beim Annähern der Tastspule in dem einen Fall höher, im anderen Fall tiefer.

Einen größeren Einfluß hat bei dem Gerät von Küntscher jedoch die Form des Fremdkörpers.

Ein 1 mm dickes und 5 mm langes Bruchstück einer chirurgischen Nadel wurde genau in Richtung der Längs-

achse aus 8 mm, in senkrechter Richtung hierzu bereits aus 12 mm Entfernung nachgewiesen. Es empfiehlt sich daher beim Aufsuchen von länglichen Körpern mit der Suchspule leichte Schwenkbewegungen zu machen.

Die maximale Entfernung, aus der ein Fremdkörper nachgewiesen wird, hängt von seiner Masse ab. Bei gleichbleibender Masse ist die maximale Entfernung von der Konstruktion des Apparates abhängig.

In der nachfolgenden Tabelle wurde nun bei einer Reihe von Fremdkörpern die maximale Entfernung bestimmt, aus der diese mit dem Küntscher'schen Gerät nachweisbar waren:

0,2 g schwerer Eisennagel	21 mm
0,02 g schweres Bruchstück einer Nadel	8 mm
3-mm-Schrotkugel	23 mm
1,7 g schwerer Granatsplitter	24 mm
9,2 g schwere Schrappnellkugel	26 mm
6,35-mm-Revolvergeschoß	27 mm
Gewehrgeschoß, Modell 98	32 mm

Praktische Versuche, die mit dem Gerät in großer Zahl an Leichen und bei Operationen ausgeführt wurden, bewiesen seine Brauchbarkeit. Stets wurden die Fremdkörper aus allen möglichen Lagen im Knochen, Drüsengewebe oder der Muskulatur entfernt, wobei das Auffinden nicht die geringsten Schwierigkeiten machte.

Natürlich dürfen auch bei diesem Verfahren in dem Augenblick, wo die Suchspule eingeführt wird, keine Metallinstrumente in der Wunde oder in ihrer unmittelbaren Nähe liegen. Klemmen müssen vorher abgebunden, Wundhaken durch in die Wundränder eingestochene Seidenfäden oder durch solche aus Nichtmetall (Novotext, Plexiglas) ersetzt werden.

Operation auf einem Metalltisch ist möglich, wenn ein mindestens 10 cm dickes Gummikissen als Unterlage dient. Versuche ergaben, daß selbst große Metallflächen von 1 qm Größe in einer Entfernung von 10 cm vom Fremdkörper selbst bei kleinsten Splittern nicht mehr störend wirkten. Diese Entfernung ist aber fast immer schon dadurch vorhanden, daß der betreffende Körperteil an sich schon die entsprechende Dicke hat und der zu suchende Fremdkörper dadurch über 10 cm über die Unterlage zu liegen kommt.

Das oben beschriebene Gerät von Küntscher wurde im Jahre 1934 in nur einfacher Ausfertigung hergestellt und war ein Versuchsgerät, dessen Erfolge aber so befriedigend waren, daß es, weiterhin verbessert, heute zu einem unentbehrlichen Hilfsmittel der Fremdkörperlokalisation geworden ist.

Bevor ich mich aber diesem Gerät in seiner heutigen Form zuwende, möchte ich noch ein Verfahren erwähnen, das von Leydhecker im Jahre 1939 angegeben wurde. Leydhecker gibt eine Methode an, die überall dort angewendet werden kann, wo ein Radioapparat vorhanden ist.

Eine metallische Sonde wird durch elektrische Leitungsdrähte mit dem einen Pol des Tonabnehmeranschlusses an einem beliebigen Radioapparat verbunden. Der andere Pol des Tonabnehmeranschlusses wird leitend mit dem Körper des Patienten verbunden. Bringt man nun bei eingeschaltetem Radioapparat die Sonde in Berührung mit dem Körper des Patienten, so ertönt aus dem Lautsprecher ein leises Knacken. Bei Berührung der Sonde mit einem metallischen Fremdkörper ertönt ein von dem ersten Knacken deutlich zu unterscheidendes, erheblich lauteres Knacken aus dem Lautsprecher.

Voraussetzung dabei ist, daß der Fremdkörper aus anderem Metall besteht als die Sonde und keine besonders dicken Oxydauflagerungen hat. Die Anwesenheit eines metallischen Fremdkörpers ist damit erwiesen, und eine Ortsbestimmung ist durch die Tiefe und Richtung der Sonde beim Ertönen des Fremdkörperknackens gegeben.

Das Knacken ist der Ausdruck eines Stromstoßes bei der Berührung zweier Metalle von verschiedener Stellung in der Spannungsreihe der Elemente.

Auch der deutsche Kleinempfänger für Batteriebetrieb kann diesem Zweck in einfachster Weise nutzbar gemacht werden.

Am deutschen Kleinempfänger ist ein Tonabnehmeranschluß nicht vorgesehen. Hier wird daher der zur Sonde führende Draht mit dem Gitterabgriff der ersten Röhre verbunden. Der andere, zum Patienten führende Draht wird mit dem mit E bezeichneten Abgriff verbunden. Statt der Sonde kann auch ebensogut ein beliebiges anderes metallisches Greifinstrument verwendet werden.

Dieses von Leydhecker angegebene Verfahren ist zwar ein sehr einfaches, jedoch wird man leicht einsehen,

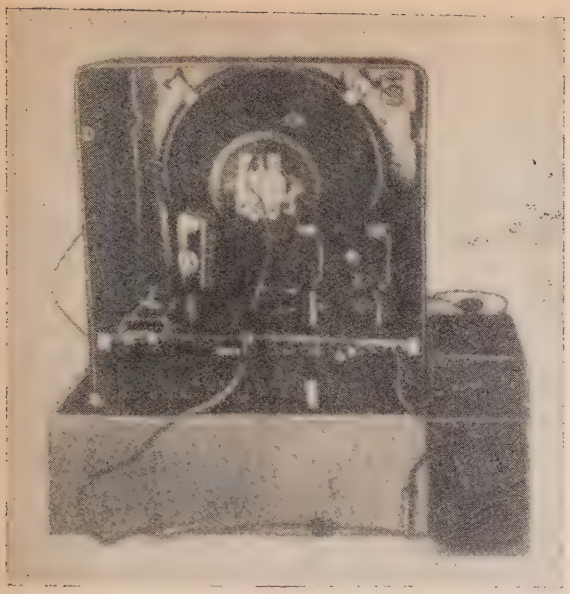


Abb. 6. Verwendung des deutschen Kleinempfängers zum Nachweis metallischer Fremdkörper nach Leydhecker. (Entnommen dem Zbl. f. Chir. 1939/41.) Der links auf dem Bilde erkennbare Draht mit Klemme wird durch eine Diathermieelektrode oder ein beliebiges Blech leitend mit dem Patienten verbunden. Der rechts erkennbare helle Draht führt vom Apparat entweder zu einer Sonde oder er wird mit einem Greifinstrument verbunden.

daß es nur ein behelfsmäßiges sein kann, dort, wo einmal kein Röntgengerät und keine andere Möglichkeit zum Aufsuchen eines Fremdkörpers vorhanden ist.

Sechs Jahre waren inzwischen seit den ersten Versuchen Küntschers mit dem Versuchsmodell seines mit Schwingungskreisen arbeitenden Metallsuchgerätes vergangen und in dieser Probezeit hatte sich das Gerät glänzend bewährt. Es wurden im Laufe dieser Zeit mehrere hundert Fremdkörperentfernungen ausgeführt, wobei die Auffindung stets gelang, obwohl sich zum Teil recht schwierige Eingriffe darunter befanden. So wurde z. B. bei einem 21jährigen Mädchen eine Nähnadel entfernt, die vom Dickdarm aus in die Rückenmuskulatur gewandert war, und deren Entfernung man bereits zweimal vergeblich versucht hatte.

Wie schon bei den Apparaten von Comberg und Küntscher beruht die Messung bei dem Gerät, was aus beiden im Laufe der letzten Jahre bis zur Vollkommenheit entwickelt wurde, auf dem Nachweis der Störung eines hochfrequenten elektromagnetischen Feldes durch den Metallkörper. Das Gerät trägt die Bezeichnung „Siemens-Metallsucher". Auch dieser Metallsucher arbeitet mit Hochfrequenzschwingungskreisen, denn die Anwendung

von Hochfrequenz hat zwei Vorteile. Erstens ist der Nachweis kleiner Rückwirkungen auf das Spulenfeld sehr empfindlich, weil das Ueberlagerungsverfahren benutzt werden kann, und zweitens können auch Metallkörper aus nicht magnetisierbaren Stoffen (Kupfer, Messing, Aluminium) lokalisiert werden.

Die Induktivität der Suchspule ändert sich bei Annäherung an den Fremdkörper, und diese Suchspule bildet zusammen mit einem Kondensator den Schwingungskreis eines Hochfrequenzsenders. Die Aenderungen der Spuleninduktivität bedingen nun natürlich auch Aenderungen der Senderfrequenz. Dieser veränderlichen Frequenz wird nun eine annähernd gleichgroße, aber feste Frequenz eines zweiten Senders hinzugefügt (überlagert).

Wie man bei zwei nicht genau gleich gestimmten Saiten Schwebungen, also ein periodisches An- und Abschwellen des Tones hört, so treten auch hier Schwebungen auf. Liegen die beiden Hochfrequenzen genügend nahe beieinander, so fällt die Schwebungsfrequenz in den Hörbereich und kann dann unmittelbar in einem Lautsprecher abgehört werden. Das Gerät hat eine derart hohe Empfindlichkeit, daß selbst Aenderungen um 10 Hz (d. h. um zehn Schwingungen pro Sekunde mehr oder weniger) mit dem Ohr noch gut wahrnehmbar sind, denn musikalisch entspricht dies fast einem halben Ton. Auf diese Weise ist also die Aenderung der Hochfrequenz um ein Millionstel unmittelbar hörbar geworden, denn der Sender arbeitet mit 10 Millionen Schwingungen pro Sekunde. Dieser Sender enthält als frequenzbestimmenden Schwingungskreis die kleine Suchspule und einen Kondensator, die beide in einen Taststab, nämlich die Sonde eingebaut sind.

Da nun aber die Reichweite der Sonde mit dem Durchmesser der Spule bei sonst gleicher Empfindlichkeit des Gerätes wächst, arbeitet man nicht nur mit einer, sondern mit zwei Sonden, einer dünneren (10 mm) und einer dickeren (19 mm Durchmesser), die wahlweise eingeschaltet werden können. Die dickere Sonde wird zu Anfang, und soweit es die Größe der Operationswunde zuläßt, auch während der Operation verwendet, die dünnere Sonde dagegen ermöglicht die genaue Ortsbestimmung auch in kleinen Operationswunden auf kurze Entfernung. Damit die Sonden störungsfrei arbeiten, muß dafür gesorgt werden, daß nur das magnetische und nicht das elektrische Feld der Spule beeinflußt werden kann, daß also bei Annäherung an das

Meßobjekt nur Induktivitätsänderungen der Spule eintreten und angezeigt werden, dagegen keine Kapazitätsänderungen. Deshalb ist die Spule vollständig geschirmt und der Abstimmungskondensator sehr groß gewählt. Damit wird gleichzeitig erreicht, daß die geringen unvermeidlichen Kapazitätsänderungen der Zuleitung, die beim Biegen des Verbindungskabels der Sonde auftreten, unschädlich sind.

Das Gerät besteht aus einem kleinen Blechgehäuse, in das die Verstärkerschaltung und der Lautsprecher eingebaut sind. Außer dem Aus- und Einschalter, der seitlich angebracht ist, sind an der Vorderseite zwei Bedienungsknöpfe vorhanden. Der eine gestattet, den Ausgangston des Lautsprechers auf die gewünschte Höhe einzustellen, mit dem anderen wird die Lautstärke des Tones geregelt. Diese Drehknöpfe sind abnehmbar und können durch Auskochen sterilisiert werden. Dadurch kann das Gerät auch vom Operateur selbst bedient werden, zumal da es möglich ist,

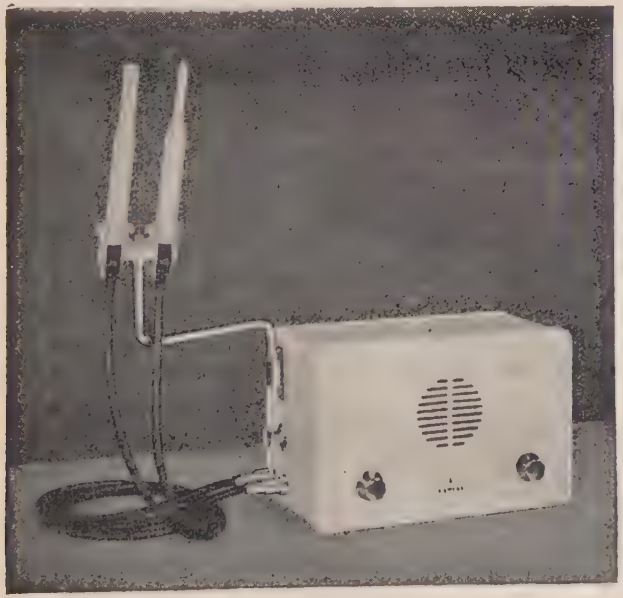


Abb. 7. Siemens-Metallsucher.
1 = Einstellknopf für Tonhöhe.
2 = Einstellknopf für Laustärke.
3 = Umschalter auf die jeweils gewünschte Sonde.
4 = 19 mm-Sonde.
5 = 10 mm-Sonde.
(Entnommen aus der Bedienungsvorschrift für den Siemens-Metallsucher der Siemens-Reinigerwerke.)

das ganze Gerät mit einem Tuch steril abzudecken, welches nur zwei kleine Löcher für die Achsen der Bedienungsknöpfe hat.

Auf der linken Seite sind die beiden Sonden mit je einem 2 m langen Kabel angeschlossen. Ueber dem Anschluß befindet sich der ebenfalls mit einem sterilisierbaren Drehknopf versehene Umschalter für die Sonden; auch Kabel und Sonden sind sterilisierbar.

Der Siemens-Metallsucher hat Universal-Wechselstromanschluß und wird durch eine hinten aus dem Gerät heraustretende Schnur mit dem Lichtnetz verbunden. Die Anwendung während der Operation ist einfach: Im allgemeinen muß vor der Operation wie bisher eine Fremdkörperlokalisation nach einem der zahlreichen Verfahren mit Röntgenstrahlen durchgeführt werden, um Art und Lage des Fremdkörpers zu ermitteln und das Operationsfeld nach genauer Ueberlegung des Operationsplanes festzulegen.

Ist der Fremdkörper nicht zu weit von der Hautoberfläche entfernt, so gelingt es schon bevor der Hautschnitt angelegt ist, die Lage des Fremdkörpers anzugeben und die Richtung festzustellen, in der eingegangen werden muß. Streicht man dann mit der dickeren empfindlicheren Sonde über die Haut des Operationsfeldes, so ändert sich der Ton, sobald die Sonde sich dem Fremdkörpere nähert. Nach dem Hautschnitt läßt sich die Sonde in die Wunde einführen.

Eine Reihe der gebräuchlichsten Instrumente, wie scharfe und stumpfe Haken, wurden aus nichtmetallischem Material hergestellt, und diese sind heiß sterilisierbar und haben auf die Sonde keinen Einfluß. Die zweite Sonde des Metallsuchers läßt sich wegen ihrer geringeren Größe aber auch ohne diese Instrumente einführen und zwischen den Muskelspalten der Wunde leicht hin- und herführen. Sie ist aber weniger empfindlich als die dicke Sonde, und der Fremdkörper wird daher erst bei stärkerer Annäherung „hörbar". Dafür kommt man mit ihr wesentlich näher an den Fremdkörper heran, da sie wie eine Wundsonde benutzt wird.

Das Gerät ist so empfindlich, daß auch das Körpergewebe und das Blut eine Tonänderung hervorrufen. Dies ist zwar im Anfang beim Aufsuchen von Fremdkörpern aus großer Entfernung störend, man lernt aber ziemlich schnell diesen „Blutton" vom „Metallton" zu unterscheiden, wie er beim Annähern an Metall entsteht. Am empfindlichsten wird die Einstellung des Gerätes, wenn man nicht auf Ton-

losigkeit, sondern auf einen nicht zu hohen Dauerton einstellt. Es ist zweckmäßig, den Ton so einzustellen, daß er bei Annäherung der Sonde an den Fremdkörper höher wird. Es gibt nämlich für jede Tonhöhe zwei Einstellungen des Tonhöhenreglers, die symmetrisch zur Stellung der Tonlosigkeit liegen. Nur eine von diesen erfüllt die obige Bedingung. Die andere ist zwar im Prinzip auch brauchbar, doch kann der immer tiefer werdende Ton bei starker Annäherung an den Fremdkörper durch Null hindurchgehen und dann wieder anwachsen, was unter Umständen verwirrt. Die richtige Einstellung liegt bei der Suche nach unmagnetisierbaren Metallen und bei größeren Eisenteilen rechts vom Nullpunkt. Bei kleinen Eisensplittern muß die Einstellung links vom Nullpunkt gewählt werden.

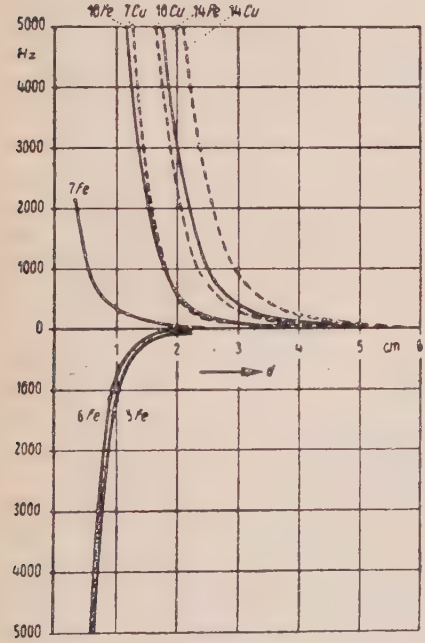


Abb. 8. Empfindlichkeitskurven des Siemens - Metallsuchers. Tonänderung bei Annäherung der Suchspule an Kugeln verschiedenen Durchmessers. (5 mm, 14 mm aus Kupfer und Stahl.)
A f = Tonänderung in Schwingungen pro Sekunde.
d = Abstand der Stirnseite der Spule vom Kugelmittelpunkt.
(Entnommen dem Zbl. f. Chir. 1941.)

Bei Versuchen, die mit dem Metallsucher angestellt wurden, um seine Empfindlichkeit zu prüfen, zeigte es sich, daß er allen Anforderungen, die man an ein solches Gerät stellen muß, vollauf entsprach.

Die Ergebnisse, die bei den bisher mit dem Metallsucher ausgeführten Operationen erzielt wurden, stehen den Versuchsergebnissen in keiner Weise nach. Es gelang bis-

her in jedem Falle, den Fremdkörper schnell und sicher zu entfernen, denn das Aufsuchen bereitet jetzt keine Schwierigkeiten mehr.

Zusammenfassung.

Die Arbeit enthält Beschreibungen der seit Entdeckung der Elektrizität und des Magnetismus im Schrifttum erwähnten elektrischen und magnetischen Verfahren, die zum Aufsuchen metallischer Fremdkörper verwendet wurden. Während bis zur Jahrhundertwende die magnetischen Lokalisationsmethoden im Vordergrund stehen, sind es in späteren Jahren vorwiegend elektrische Verfahren, deren man sich beim Aufsuchen von Fremdkörpern bedient.

Wenn es in dieser Arbeit nicht meine Aufgabe war, die zahlreichen Röntgenverfahren zur Fremdkörperbestimmung zu beschreiben, dann lag der Grund wohl nicht zuletzt darin, daß man heute, trotz fortschrittlichster Röntgengeräte, erkannt hat, daß die Röntgenlokalisation für sich allein bei der Fremdkörpersuche nicht die Methode der Wahl sein kann, aus Gründen, die ich ebenfalls im Rahmen meiner Arbeit anführte. So groß aber die Nachteile einer solchen Röntgenoperation auch sind, für die grobe Ortsbestimmung eines Metallsplitters ist das Röntgengerät doch unerläßlich.

Es erhellt daraus, daß man sich in jedem Falle mit einer groben Vorlokalisation des Fremdkörpers mittels der Röntgenstrahlen begnügen sollte. Das weitere sollte man dann aber einem strahlenfreien Verfahren zur endgültigen, vor allem aber sicheren Ortsbestimmung — ich möchte sie Feinlokalisation nennen — überlassen.

Sicheren Erfolg verspricht dabei das neueste Gerät von Siemens, einmal, weil es seine Brauchbarkeit bei vielen Operationen unter Beweis gestellt hat, das andere Mal, weil es sehr einfach und vor allem von dem Operateur selbst zu bedienen ist.

Damit kommen wir zu dem Ergebnis, daß das Röntgenlokalisationsverfahren und das elektrische Metallsuchgerät — was durch jahrelange Erfahrungen erwiesen ist — eine „Symbiose" eingehen müssen, um somit die Methode der Wahl bei der Fremdkörpersuche darzustellen, zum Wohle derer, denen geholfen werden soll und zur inneren Befriedigung derer, in deren Händen es liegt zu helfen.

Ich erlaube mir an dieser Stelle, Herrn Professor Dr. H a a s e für die Ueberlassung des Themas und die wohlwollende Förderung und Unterstützung während meiner Arbeit meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Ich danke ferner Herrn Dr. C l a s s e n von den Siemens-Reinigerwerken für die Ueberlassung zahlreicher Sonderdrucke seiner Firma und besonders auch Herrn Dr. J a u m a n n (Wernerwerk, Siemensstadt) für die Erklärung und Erläuterung vieler technischer Einzelheiten.

Schriftenverzeichnis.

de la Baume-Pluvinel: Zitiert nach Delherm et Laquerriere. (Siehe dort.)

Cohen: Feldärztliche Beilage der Münch. med. Wschr. 1915/20.

Comberg: Münch. med. Wschr. 1933/45.

Delherm et Laquerriere: „Traité d'électro-radiothérapie". Paris 1938.

Dumont: Correspondenzblatt schweiz. Aerzte. 1884/208.

Grashey: Zitiert nach Miehr (siehe dort).

Gissel: Zitiert nach Jaumann (siehe dort).

Henrard: „La localisation et l' extraction des projectiles". Paris 1938.

Hughes: Journal Belge de Radiologie. Brüssel 1939.

Holzknecht: Münch. med. Wschr. 1914/15.

Jaumann: Zbl. f. Chir. 1940/50.

Joedicke: Münch. med. Wschr. 1915/26.

Kälin: Dtsch. Zeitschrift f. Chir. 1887/82.

Kaufmann: Münch. med. Wschr. 1915/26.

Kleiner: Zitiert nach Kälin (siehe dort).

Kocher: Correspondenzblatt schweiz. Aerzte. 1884/208.

Küntscher: Zbl. f. Chir. 1934/30; 1940/50.

Leydhecker: Zbl. f. Chir. 1939/41.

Loewenthal: Münch. med. Wschr. 1915/33.

Miehr: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen. 1938/II.

Nienhold: „Ueber elektrische Fremdkörpersonden". Münch. med. Wschr. 1915/33.

Schlaaf: Zbl. f. Chir. 1940/41.

Wachtel: „Das Fremdkörpertelefon". Münch. med. Wschr. 1915/37.

Mein Lebenslauf.

Ich, Herbert Werner P a s t e r n a c k , wurde am 11. Februar 1917 zu Berlin als Sohn des Offizierstellvertreters August Pasternack und seiner Ehefrau Gertrud Pasternack, geb. Bräunig geboren.

Von meinem sechsten Lebensjahre ab besuchte ich die 26. Gemeindeschule in Berlin bis zum Jahre 1927, anschließend das Dorotheenstädtische Realgymnasium, an dem ich Ostern 1936 meine Reifeprüfung ablegte. Bis zum 30. September 1936 genügte ich meiner Arbeitsdienstpflicht, um am 1. November 1936 als Freiwilliger bei der Luftwaffe einzutreten. Am 31. März 1938 wurde ich als Unteroffizier entlassen und begann am 1. April 1938 das Studium der Medizin. Im März 1939 bestand ich in Berlin den ersten Teil der ärztlichen Vorprüfung, im Januar 1940 nach einem Studiensemester in Leipzig dortselbst den zweiten Teil der ärztlichen Vorprüfung. Seit dem 11. September 1939 bin ich wieder Angehöriger der Luftwaffe und als San.-Feldwebel zum nebendienstlichen Studium an der Universität Berlin kommandiert.